

iPSTAR 与 高密度固定卫星业务

吴波洋

为了满足小口径天线卫星宽带数据广播的业务增长需求，WRC-03 曾对高密度固定卫星业务（HDFSS, high-density fixed-satellite service）作了专题探讨，并在 Ka 频段中规划出一段频率资源供其使用。实际上，泰国 Shin 卫星公司早就投巨资建造类似 HDFSS 应用的 iPSTAR 卫星和相关通信系统。尽管卫星通信市场尚处不景气中，iPSTAR 计划一拖再拖，但 iPSTAR 卫星仍在 2005 年 8 月发射升空，并将在年内投入使用。本文拟从分析 iPSTAR 着手，推测并探讨 HDFSS 的技术特点与应用可能性。

一、iPSTAR 简介

iPSTAR 采用基于密集点波束的频率复用技术，试图以一颗卫星提供

多于 1000 个等效 36MHz 转发器的通信容量。卫星拟占用 120° E 轨位，其地面服务区如图 1 所示。除了密集点波束外，iPSTAR 还为人口密度较低的中国西部和蒙古、印度尼西亚、以澳大利亚设计了三个区域波束。点波束中心的 EIRP 约为 58.7dBw，G/T 约为 18.5dB/k；区域波束中心的 EIRP 约为 53.4dBw，G/T 约为 6.6dB/k。



图 1 iPSTAR 的地面服务区

iPSTAR 系统是包含卫星、关口站和网管系统及小口径天线地面终端的，基于 IP 技术的宽带卫星广播系统。由关口站到终端的前向链路采用 TDM-OFDM 方式，载波带宽为 131kHz~2MHz；由终端到关口站的反向链路采用 MF-TDMA 方式，载波带宽为 60MHz。为了进一步提高带宽利

用率。载波采用动态带宽管理方式。载波的调制编码方式随降雨衰耗而变。使系统在较好的电波传播条件下，能以较高的带宽利用率收发数据。

远端站工作在 Ku 频段，点波束中的地面天线口径为 0.84m—1.2m，区域波束中的地面天线口径为 1.8m。为了增加可用带宽，18 个关口站的上下行信道改用 Ka 频段，卫星转发器采用传统的透明信道方式。前向链路为 Ka 上行，Ku 下行，返向链路为 Ku 上行，Ka 下行。

卫星采用 SS/Loral 的 FS-1300L 平台，直流功率为

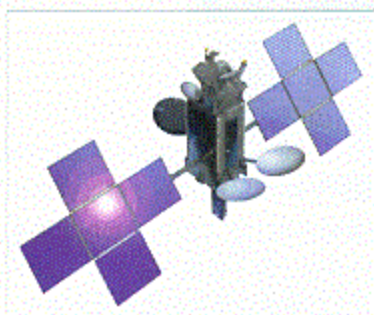


图 2 iPSTAR 的外观图

14kW，星上共有 114 个转发器，卫星寿命 12 年。星上载有 4 大 3 小共 7 个通信天线。由图 2 所示的卫星图片推测，大天线口径约为 2m—2.2m，小天线口径略大于 1m。

二、iPSTAR 的系统结构

由卫星的外观图推测，iPSTAR 的 84 个 Ku 频段点波束可能分别由 3 个多馈源的大口径天线产生，18 个 Ka 频段关口站点波束由另 1 个多馈源大天线产生，3 个区域波束由 3 个顶置 (nadir) 的小口径赋型天线产生。

据有关资料介绍，iPSTAR 的 Ka 频段上行频率范围为 27000—27550MHz (带宽 550MHz)、28350—28600MHz (带宽 250MHz)、以及 29500—30050MHz (带宽 550MHz)。下行频率范围为 18300—18675MHz (带宽 375MHz)、以及 19700—20200MHz (带宽 500MHz)；iPSTAR 在中国的 Ku 频段转发器上行频率范围为 14000—14125MHz、14125—14250MHz、以及 14250—14375MHz (带宽均为 125MHz)。下行频率范围为 12200—12383MHz、12383—12567MHz、以及 12567—12750MHz (带宽为 183MHz 或 184MHz)。

由上述频率关系分析，每个关口站最多可以与 12 个点波束建立通信链路。对应于一个关口站的前向与返向链路的卫星转发器推

测方框图分别如图 3 和图 4 所示。

在图 3 所示的前向链路转发器中，高低两段 550MHz 带宽、两个极化的 Ka 频段上行载波，分别通过相应的接收机和下变频器，进入各自的三个 183MHz (或 184MHz) 带宽的 Ku 频段下行信道。另有两个极化的 Ka 上行载波，分别通过各自的接收机和下变频器，进入 Ku 频段的区域波束或扩展波束 (Augmented beam，仅服务于关口站所在的点波束) 下行信道。区域波束和扩展波束的带宽均为 250MHz。

在图 4 所示的返向链路转发器中，带宽均为 125MHz 的三个 Ku 频段上行信道，通过 375MHz 带宽的接收机和下变频器，进入 Ka 频段低段下行信道。带宽均为 125MHz 的三个 Ku 频段点波束上行信道，以及一个 Ku 频段区域或扩展波束上行信道，通过 1000MHz 带宽的接收机和下变频器，进入 Ka 频段高端下行信道。高低两端的 Ka 频段下行信道均可工作在两个正交极化上。

三、iPSTAR 的 Ku 频段载波参数

点波束的峰值 EIRP 为 58.7dBw/183MHz，折合为 54MHz 等效转发器的 EIRP 为 53.4dBw。上述数据表明，由于点波束的数量过多，卫星平台所能提供的直流功率有

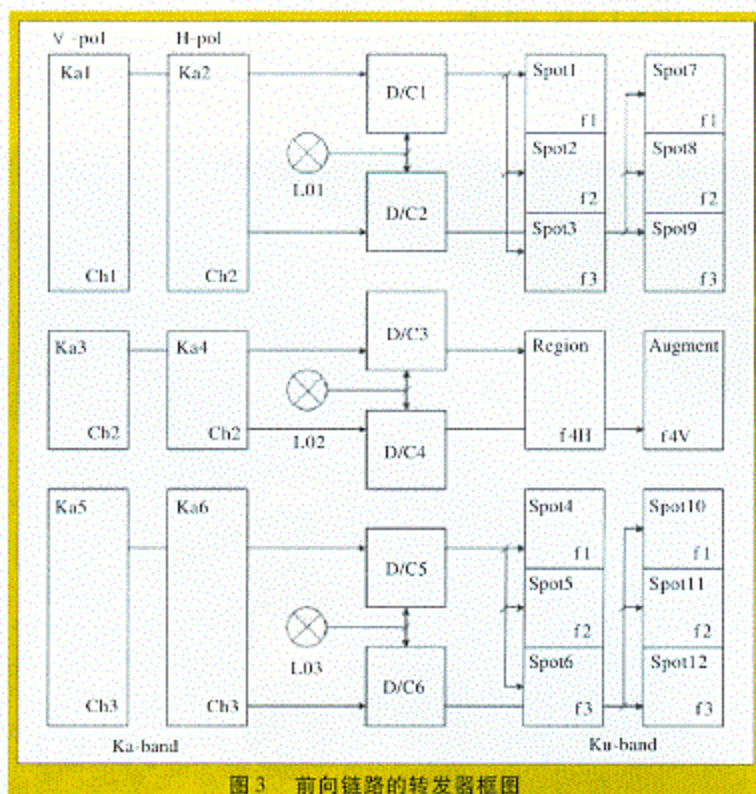


图 3 前向链路的转发器框图

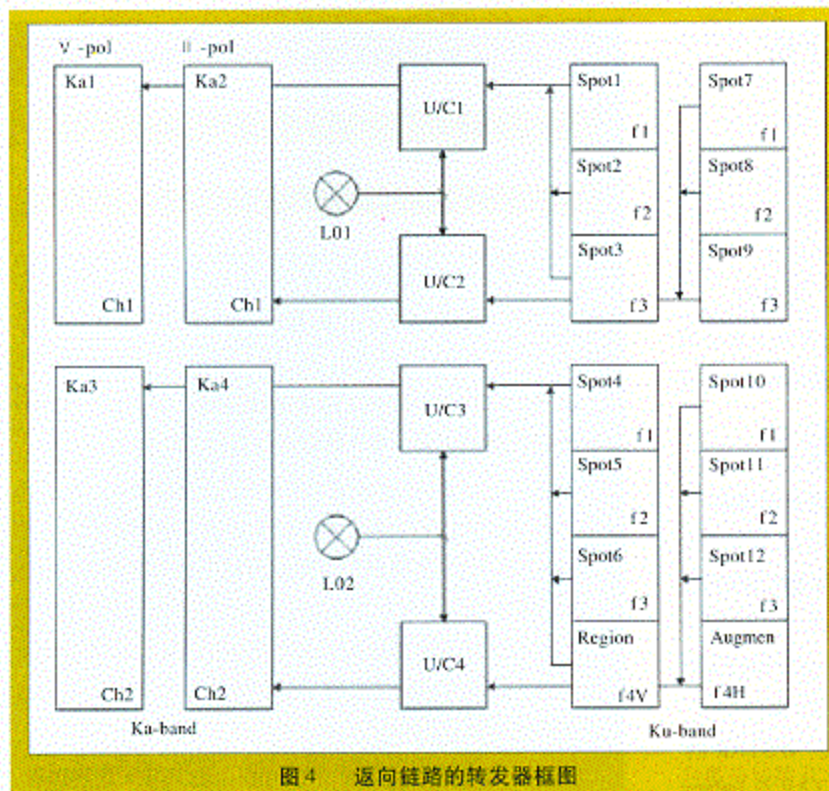


图4 返向链路的转发器框图

限，iPSTAR的实际EIRP并不比传统通信卫星的国家波束或区域波束Ku频段转发器高。考虑到点波束天线增益的滚降很快，波束边缘的EIRP可能比波束中心低6dB或更多。如果不在调制编码上做文章，47dBW/54MHz上下下的EIRP似乎并不能支持1m天线地面终端的正常接收。

点波束的峰值G/T约为18.5dB/k，波束边缘或许只有12dB/k。在不考虑上行C/N的情况下，上行EIRP主要由SFD决定。估算结果表明，用1.2m天线配用1W功放的地面终端发送2MHz带宽的返向载波时，SFD的设置值可为-92dBW/m²；用1.8m天线配用1W功放发送2MHz载波时，SFD的设置值可为-89dBW/m²。但是在实际上，iPSTAR的SFD设置值应可低于-94dBW/m²。可见，iPSTAR远端站的上行能力是足够的。

分析结果表明，iPSTAR所用密集点波束的优越性主要体现在频率资源的充分利用上，其等效EIRP指标并不高。

区域波束中心的G/T约为6.6dB/k，边缘或许只有4dB/k，但还不算太低。但是区域波束的峰值EIRP为53.4dBW/250MHz，折合为54MHz等效转发器的EIRP为46.7dBW，其波束边缘可能低于44dBW。也许是受卫星天线口径的限制，区域波束的EIRP指标太低，使得服务区内必须使用较大口径的地面天线。

笔者认为，与其用一个小口径赋型天线为低使用率地区提供低EIRP服务，不如增加若干个点波束，用并联点波束的手

段为相关地区提供服务。并联点波束可与密集点波束共用同一个大口径天线反射面，所需增加的只是若干个馈源。在并联点波束的覆盖范围内，天线增益与其他点波束相同。因此G/T值与单个点波束相同。虽然并联点波束因功放输出被分路到多个馈源，若需维持EIRP不变，其功放功率应远高于单个的点波束。但若考虑到大口径点波束天线的增益比小口径赋型波束高约10dB，以及其他因素，并联点波束的所需功率仍将远低于区域波束设计。图5为对iPSTAR中国服务区的建议修改设计。其中，东南部的三重频率复用密集点波束维持不变，西北部用三个双重频率复用的并联点波束代替原有的区域波束。图6为笔者认为比较适合中国行政区划和民族分布的四重频率复用密集点波束/并联点波束设计的示意图。

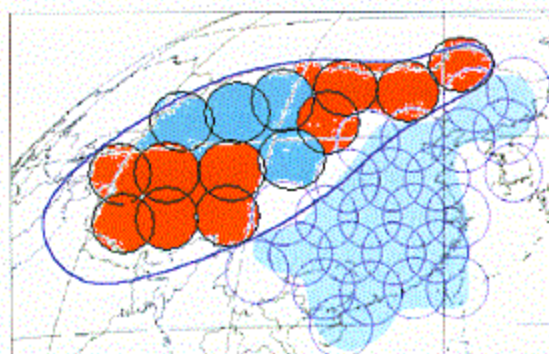


图5 并联点波束举例 (3X+2X frequency reuse)

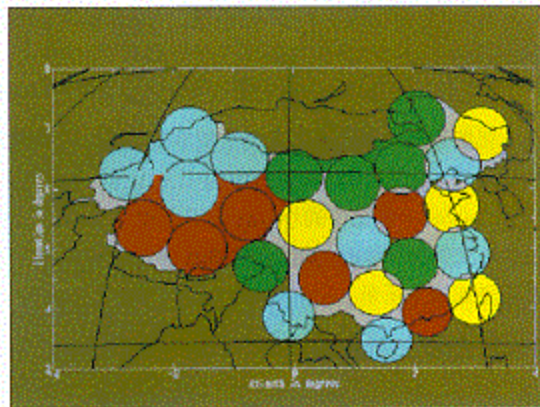


图6 并联点波束举例 (4X frequency reuse)

四、iPSTAR 的邻星干扰分析

1. 邻星干扰分析

iPSTAR 的登记轨位为 120° E，两侧已登记使用 Ku 频段的卫星轨位分别为 Palapa 的 118° E 和 AsiaSat 的 122° E。由于口径小于 1m 的 Ku 频段地面天线的波束较宽，在 2° 轨位间隔下仍然存在相当程度的邻星干扰。考虑到：

- ① iPSTAR 的操作者 Shin 卫星公司已与亚洲卫星公司完成邻星协调，后者已将其在轨卫星 AsiaSat-4 从 122° E 轨位东移至 122.2° E；
- ② iPSTAR 在其官方网站上的公布轨位为 120° E $\pm 0.5^\circ$ ，其容限远大于卫星公司通常所公布的 $\pm 0.1^\circ$ 或 0.05° ；
- ③ 为避免增加与 AsiaSat-4 之间的邻星干扰，iPSTAR 的轨位不能东移；
- ④ 118° E 轨位 Palapa 的 Ku 频段协调地位低于 iPSTAR，加之 Palapa 尚未使用 118° E 轨位的 Ku 频段资源，iPSTAR 有可能西移；为此或可推测，iPSTAR 的实际轨位可能为 119.5° E。因为 iPSTAR 与 Palapa 以 1.5° 间隔共存的可能性很小。

下文将以 2.7° 间隔为条件，对 iPSTAR 和 AsiaSat-4 作邻星干扰分析。邻星干扰分析的指标为系统所要求的 C/I 保护比。鉴于：

- ① 邻星协调所要求的 C/I 应比系统所要求 C/N 值高 12.2dB；
- ② 在常用载波中，DVB 载波对 C/N 的要求最为宽松，其值约为 6dB，对应的 C/I 约为 18dB；
- ③ 当上行和下行 C/I 相等时，系统的 C/I 将比系统 C/I 低 3dB；
- ④ 由于下行邻星干扰较难克服，在通常的系统设计中，上行 C/I 大多远高于下行 C/I，为此假设，下行 C/I 应该不低于 19dB，上行 C/I 应该不低于 25dB。

邻星干扰分析所要考虑的主要参数为小口径天线的偏轴增益差。已知 iPSTAR 系统中的小天线为 0.84m 到 1.2m，假设 AsiaSat-4 系统中的小口径通信天线为 1m 和 1.2m，电视单收天线为 0.65m。相关天线的峰值增益与其 2.7° 偏轴增益差如表 1 所示。

2. 载波参数推算

两颗卫星的载波参数根据以下考虑推算。

- (1) AsiaSat-4 的 Ku 频段通信转发器装有线性器，其

表 1 几种小口径天线的峰值增益与偏轴增益差

Antenna (m)	0.65	0.84	1.0	1.2
G _{14.25GHz} (dBi)	37.5	39.7	41.3	42.8
Δ G _{14.25GHz} (dB)	17.4	21.5	23.0	24.6
G _{12.5GHz} (dBi)	36.4	38.6	40.1	41.7
Δ G _{12.5GHz} (dB)	13.4	21.0	21.9	23.5

多载波条件下的转发器输出和输入回退值分别为 3dB 和 6dB；

- (2) AsiaSat-4 的 SFD 可为 -94dBW/m²，Ku 频段 54MHz 带宽转发器的上行 EIRP 谱密度约为 -15dBW/Hz；

(3) AsiaSat-4 的峰值 EIRP 大约为 56dBW，在多载波条件下，Ku 频段转发器的峰值下行 EIRP 谱密度大约为 -24dBW/Hz，中国境内多数地方的下行 EIRP 谱密度低于 -27dBW/Hz；

(4) 转发器数量高达百余个的 iPSTAR 估计不会安装线性器，假设其多载波条件下的转发器输出和输入回退值分别为 4.5dB 和 10dB；

(5) 从 1m 天线配 2W 功放可以上行 2MHz 载波推测，iPSTAR 的上行 EIRP 谱密度不高于 -19dBW/Hz；

(6) 考虑到 iPSTAR 的 G/T 高达 18.5dB/k，转发器带宽达 125MHz，它的 SFD 设置值可以低于 -94dBW/m²，对应的上行 EIRP 谱密度可能低于 -22.5dBW/Hz；

(7) PSTAR 的 Ku 频段点波束峰值 EIRP 为 58.7dBW/183MHz，在多载波条件下的下行 EIRP 谱密度大约为 -28.5dBW/Hz，点波束边缘的下行 EIRP 谱密度可能低于 -35dBW/Hz。

3. 上行和下行 C/I 估算

两颗卫星的上行和下行 C/I 的估算大致如下：

(1) 上行 C/I 的估算公式可以简化为已方的上行 EIRP 谱密度减去干扰上行站在偏轴方向上的 EIRP 谱密度，即 $C/I_{up} = EIRP_c - EIRP_i = EIRP_c - (EIRP_i - \Delta G_{up})$

(2) 分别代入 -22.5dBW/Hz (iPSTAR) 和 -15dBW/Hz (AsiaSat-4) 的上行 EIRP 谱密度，及 23.0dB (1m 天线) 和 24.6dB (1.2m 天线) 的偏轴增益差，iPSTAR 受 AsiaSat-4 系统中 1m 站和 1.2m 站上行干扰的 C/I 分别约为 15.5dB 和 17dB；

(3) 同样地，代入两颗卫星的上行 EIRP 谱密度及不同口径发送天线的偏轴增益差，AsiaSat-4 受 iPSTAR 系统 1 个点波束中的 0.84m 站、1m 站或 1.2m 站的上行干扰 C/I 分别约为 29dB，30.5dB 和 32dB。

(4) iPSTAR 可能有 25 个中国点波束, 以及近 10 个中国周边点波束共用 3 个 Ku 频段, 因此它对 AsiaSat-4 的上行干扰或为上述计算值的 8 到 10 倍。同时受到 10 个点波束的上行干扰 C/I, 应该分别修正为 19dB, 20.5dB 和 22dB。

(5) 下行 C/I 的估算公式可以简化为已方天线正常接收下行 EIRP 谱密度与在偏轴方向上接收邻星 EIRP 谱密度之差, 即 $C/I_{\text{rx}} = (EIRP_c + G) - (EIRP_i' + G')$

$$= EIRP_c - EIRP_i + \Delta G_{\text{DB}}$$

(6) 分别代入 -28.5dBW/Hz (iPSTAR) 和 -24dBW/Hz (AsiaSat-4) 的下行 EIRP 谱密度, 以及 21dB (0.84m 天线)、21.9dB (1m 天线) 和 23.5dB (1.2m 天线) 的偏轴增益差, iPSTAR 系统中 0.84m 站、1m 站和 1.2m 站受 AsiaSat-4 下行干扰的 C/I 分别约为 16.5dB, 17.5dB 和 19dB。

(7) 同样地, 代入两颗卫星的下行 EIRP 谱密度及不同口径接收天线的偏轴增益差, AsiaSat-4 系统中 0.65m 站、0.84m 站、1m 站和 1.2m 站受 iPSTAR 下行干扰的 C/I 分别约为 18dB, 25.5dB, 26.5dB 和 28dB。

干扰估算结果表明, 尽管轨位间距宽达 2.7°, 上行和下行邻星干扰 C/I 也只是分布在要求值 25dB 和 19dB 的上下。考虑到 AsiaSat-4 系统中的多数数字载波采用 QPSK 和 3/4 FEC 的调制编码方式, 其 C/I 要求高于上述标准, 上述估算是 peak to peak, 而邻星协调还应考虑最恶劣的情况, 因此, 实际情况下的干扰状况可能更不乐观。

五、密集点波束的特殊性

干扰分析还需考虑密集点波束的特点。由于 iPSTAR 点波束在中国各地的参数大致相同, 而 AsiaSat-4 中国波束的参数从东南到西北递减, 双方的互扰也随地域而有所不同。例如, iPSTAR 受 AsiaSat-4 的上行干扰在西北地区更严重些, 下行干扰在东南地区更严重些。AsiaSat-4 受 iPSTAR 的干扰则相反。

密集点波束的系统设计增加了查找和判断干扰源的难度。由于关口站的网管人员及邻星的转发器管理者无法观察到各个点波束的 Ku 频段载波频谱, 如果双方系统的小用户没有条件提供频谱纪录, 对邻星干扰的分析处理将难以进行。

由于相近的几个同频段点波束之间可能因为相互隔离不够而多少存在着互扰, 加上点波束中心与波束边缘的转发器参数滚降变化大, 与通常的 Ku 频段业务相比, iPSTAR 系统在建站开通和运行管理方面均需作特殊考虑。

在密集点波束与通过关口站作 Ku/Ka 链接的系统中, 两个小站之间的联系必须通过关口站转接。分处两个关口

站管辖下的两个点波束之间的联系, 还需要经由两个关口站之间的地面线路。

密集点波束的系统设计可能使卫星的在轨测试 (IOT, In Orbit Test) 难以全面进行。对于卫星发射后仍未建成的部分关口站, 相应的 Ka 和 Ku 频段点波束需要采用改变卫星姿态的方法, 由其他站点代行 IOT。此外, 80 多个点波束不可能都去现场作 IOT。如采用逐一改变卫星姿态, 由测控站代做的方法, 不但费时费力, 精度也会受影响。

六、iPSTAR 的系统运营与市场前景

iPSTAR 卫星的制造、发射和保险成本约 5 亿美元。服务区覆盖 10 多个国家的 18 个关口站以及网管设备的成本也在 2 亿美元上下。虽然每个远端站的售价可能最终降到远低于 1 千美元, 但从整个系统的数据流量可以超过 40Gb/s 推测, 因为数量巨大, 天线、设备和安装成本都相当可观。从目前情况分析, 很难保证在 12 年的卫星寿命期间平衡如此大的投入, 并进而争取赢利。正因如此, Shin 卫星公司将 iPSTAR 的发射日期再三推延了好几年。

由此推测, Shin 公司对业务发展和赢利预测都未见有很强的信心。由于各方都很谨慎, 在 Shin 和 iPSTAR 的官方网站上只见几家外国公司与之签订协议 (agreement) 的消息, 鲜见最终落实到合同 (contract) 上的报道。

中国大陆和香港目前共有 8 颗在轨通信卫星, C 频段和 Ku 频段的双向带宽约为 16GHz, 带宽利用率估计略低于 50%。iPSTAR 为中国提供的点波束与区域波束的总带宽约为前向 4.5GHz, 返向 3GHz。据资料介绍, iPSTAR 的带宽费用 (未讲明是成本还是租赁价格) 仅为目前 Ku 频段常规卫星的十分之一。如果 iPSTAR 在用户需求未见大幅增加时进入中国市场, 由此引起的恶性竞争将大大削弱卫星公司对用户的议价能力。

七、由 iPSTAR 看 HDFSS

通过上述分析, 对我国潜在的 HDFSS 应用有所启示。

1. 转发器参数

- (1) 密集点波束可以大幅提高频谱利用效率;
- (2) 因为点波束天线的增益高, G/T 得以大幅提高;
- (3) 因为转发器数量多、带宽大、以及卫星直流功率有限等原因, 单位带宽的 EIRP 并不比传统的通信卫星高;
- (4) 在所有点波束合成的整个服务区内, 转发器参数

大致相等；

(5) 在单个点波束内部，波束中心和边缘的转发器参数相差较大；

(6) 由于上述原因，加之相邻点波束工作在不同频段上，为了稳定转发器参数和地球站工作状态，卫星需要较高的姿态控制精度。

2. 系统设计

(1) Ku 频段卫星之间的轨位间隔通常只有 $2^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$ ，1m 以下的小口径天线系统难以避免邻星干扰；

(2) Ka 频段因为天线波束较窄，更适用于小口径地面天线系统，但其轨位资源可能渐趋紧张，邻星干扰将随轨位间距的缩小而增加；

(3) 小口径卫星天线提供的低 EIRP 区域波束设计不够理想；

(4) 可考虑以并联点波束，即用一个功放推动几个点波束的方式，在低业务量地区取代区域波束；

(5) 根据不同的雨衰条件调整载波的调制编码方式，可以提高带宽利用率；

(6) 因为动态和随机的雨衰变化无法预测，上述动态带宽管理方式总是滞后的，其效果有待在实践中验证。

3. 网络结构与运行管理

(1) 因为在结构和成本上都无法承受，密集点波束不可能为每两个波束都提供交链；

(2) 密集点波束适于采用以关口站为中心的一个或多

个星状网的网络结构；

(3) 如果条件允许，两个关口站之间的通信联系应该尽可能利用地面光缆；

(4) 关口站和远端站分别工作在 Ka 和 Ku 频段的 Ku/Ka 交链方式，可以有效扩展 Ku 频段的容量限制；

(5) 密集点波束的在轨测试、运行管理和干扰分析都是新课题。

八、结束语

HDFSS 中的 high density (高密度) 指的并不是 power density (功率谱密度)，而是用于满足宽带业务需求的高密度应用。为了充分利用卫星通信的可用频谱资源，类似于 iSTAR 的密集点波束是目前惟一可用的技术方式。

由于 Ku 频段的小口径天线业务受到邻星协调的限制，HDFSS 应以 Ka 频段为主，考虑到技术风险，卫星转发器仍应采用传统的透明信道方式。为了简化卫星天线结构并且保持转发器性能，低业务量地区可采用并联点波束的设计方式。出于经营管理的困难，卫星操作者可以兼任网络运营商，但是内容提供服务应该分包出去。

密集点波束通信卫星的系统设计和运行管理均有一定的难度。虽然在提高带宽利用率的同时可以降低单位带宽的成本，但在卫星通信业务相对萧条的今天，自身经营仍有风险，还会冲击传统的卫星通信业务。为此，在作有关 HDFSS 的投资决定时，必须慎之又慎。■

(作者网站: <http://www.satcomengr.com>)

BGAN 产品 Explorer 500 面市

10月11日，丹麦 Thrane & Thrane 公司与北京泰莱斯塔通信技术有限公司在北京举办海事卫星 BGAN 产品发布会，向与会的各界代表隆重推出新一代海事卫星宽带产品 (BGAN) Explorer 500。作为 BGAN 地面设施的总承包商，丹麦 Thrane & Thrane 公推出的 Explorer 500 以其突出的特点引起了与会代表的极大兴趣：主机、天线一体化设计，小巧、轻便，整套设备 1.3kg，便于携带，操作，具备语音、传真、



短信、高速数据 (432kb/s) 传输功能。在进行数据传输的过程中可以进行电话或传真业务；提供蓝牙、USB、IP、电话等多种接口，配置方便灵活。

该产品可广泛应用于军队武警、新闻媒体、石油建设、海外工程、户外运动等各种野外行业。Thrane & Thrane 公司的陆地市场部经理 Nicolaj Rasmussen 高兴地宣布，Explore 500 在今年年底可正式投入使用，更高性能的 Explorer 700 预计将在 2006 年上半年初投放市场。

北京泰莱斯塔通信技术有限公司总经理杜景东表示，北京泰莱斯塔多年从事海事卫星通信业务，作为 Thrane & Thrane 公司授权的代理商，该公司可直接获得厂方的技术培训、技术支持，可以向用户提供长期的、优质的技术支持和售后服务。